

О ПРИЧИНАХ ХАОТИЗАЦИИ АВТОДИННЫХ СИГНАЛОВ В СВЧ ГЕНЕРАТОРАХ

В.Я. Носков, К.А. Игнатков

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, noskov@oko-ek.ru

ON THE CAUSES OF AUTODYNE SIGNAL CHAOTIZATION IN MICROWAVE OSCILLATORS

V.Ya. Noskov, K.A. Ignatkov

Известно, что при увеличении уровня отражённого излучения до значения, когда параметр искажений превысит единицу, отклик автодинного генератора формируется с резкими скачкообразными перепадами, выходные сигналы теряют свою «гладкость», а фазовые переходы этих скачков имеют гистерезис [1,2]. Данное явление, требующее своего дальнейшего изучения, значительно усложняет или делает невозможной обработку такого сигнала.

В работе [3] показано, что данное условие ($p_a > 1$) соответствует выходу за пределы устойчивости системы. На основе результатов численного анализа установлено, что в этом случае в системе при определённых фазовых соотношениях между излучённым и отражённым сигналами наблюдается незатухающий релаксационный процесс автомодуляции колебаний генератора [4] и скачки автодинного отклика при изменении расстояния до отражателя. При дальнейшем увеличении параметра ($p_a > 2$), как следует из рассчитанных автодинных характеристик [5], процесс формирования автодинного отклика значительно усложняется, сопровождается «потерей периодичности» сигнала доплеровской частоты и напоминает хаотический.

Случай «сильного» отражённого излучения, когда $p_a \gg 1$, в литературе по автодинам практически не рассмотрен, хотя его исследование, несомненно, представляет практический интерес, особенно в плане расширения функциональных возможностей автодинов и освоения коротковолновой части миллиметрового диапазона, где данные явления наиболее вероятны. Цель настоящей работы – в некоторой степени восполнить указанный пробел, изложив концепцию работы автодинного генератора в данных условиях, подтверждённой, по мнению авторов, экспериментально в ходе натурных испытаний СБРЛ 8-мм диапазона.

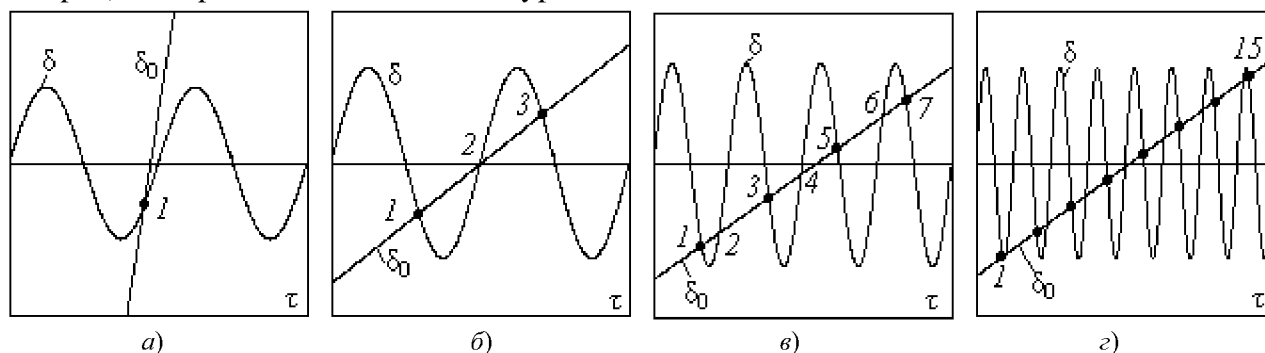


Рис. 1. Графики функций $\delta(\tau)$ и $\delta_0(\tau)$, построенные при $p_a < 1$ (а), $1 < p_a < 2$ (б), $3 < p_a < 4$ (в), $7 < p_a < 8$ (з).

Поведение автодинного генератора определяется уравнением для фазы коэффициента отражения $\delta(\tau)$, приведённого к выходу генератора [1]. Данное выражение запишем в виде: $\delta(\tau) = \delta_0(\tau) - p_a \sin \delta(\tau)$, где $\delta_0(\tau) = \omega_0 \tau$ – линейная функция времени τ и частоты ω_0 колебаний автономного генератора; $\delta(\tau) = \omega \tau$ – нелинейная функция, зависящая от τ и текущей частоты ω колебаний. Аналитическое решение этого выражения возможно только при значениях $p_a < 1$ [1]. При нарушении этого неравенства решение уравнения обычно находится графически, как точка пересечения графиков функций $\delta(\tau)$ и $\delta_0(\tau)$. На рис. 1 для различных значений p_a и τ представлены графики этих функций. Точки пересечения графиков, выделенные жирными точками и обозначенные нечётными цифрами, соответствуют устойчивому режиму колебаний, а чётными цифрами – неустойчивому [6].



Рис. 2. Внешний вид (а) автодинной СБРП и панорама (б) парка сортировки вагонов (вертикальной стрелкой указан контролируемый путь)

В случае слабого сигнала (расстояние до отражающего объекта велико), когда параметр искажений p_a мал, точка пересечения 1 графиков одна (см. рис. 1 а), поэтому в процессе передвижения объекта автодинные изменения частоты и амплитуды колебаний гладкие, непрерывные и при величине $p_a \sim 1$ наблюдаются заметные искажения сигналов. С уменьшением расстояния уровень отражённого сигнала возрастает и, соответственно, увеличивается параметр искажений p_a . При его величине в пределах $1 < p_a < 2$ (см. рис. 1 б) точка пересечения 2 является неустойчивой [6], в этом случае при перемещении отражателя неустойчивый участок характеристики преодолевается скачками. В этом случае сигнал подвержен сильной фазовой модуляции и искажениям. При дальнейшем увеличении уровня отражённого излучения (с приближением объекта) и, естественно, параметра искажений, количество точек пересечения растёт (см. рис. 1 в и г). В этом случае при движении отражающего объекта перескок частоты может происходить на любую устойчивую точку пересечения характеристик. При этом устанавливается соответствующая (случайная) фаза коэффициента отражения $\delta(\tau)$, поэтому при этом отмечается «потеря периодичности доплеровского сигнала» и переход автодина в «нестационарный» режим формирования автодинного отклика (в терминах [7]), иными словами, наблюдается формирование хаотического отклика автодинного генератора.

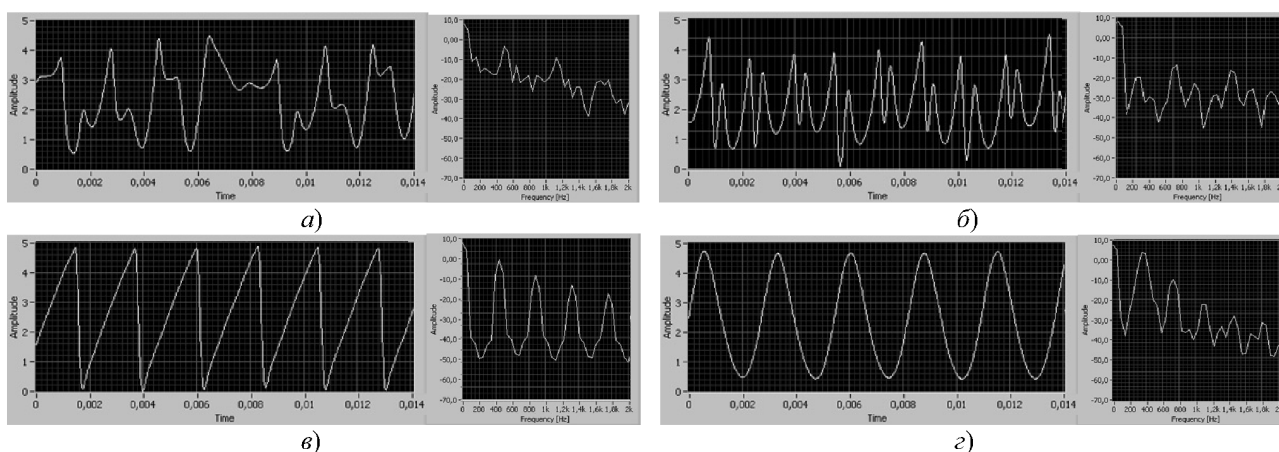


Рис. 4. Осциллограммы и спектрограммы автодинного сигнала, полученного с обычным (нестабилизованным) генератором от вагона на расстояниях около 50 м (а), 75 м (б), 150 м (в) и 250 м (г).

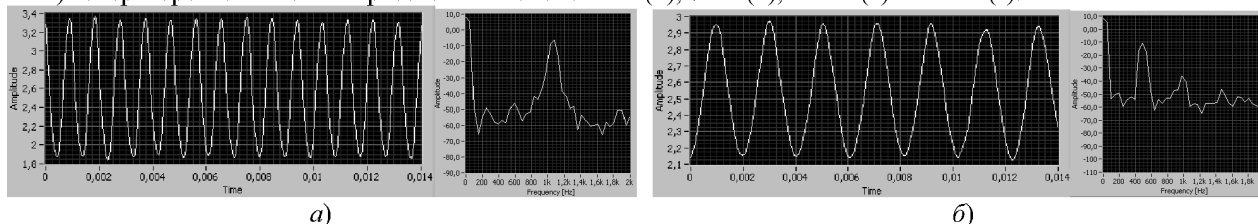


Рис. 5. Осциллограммы и спектрограммы автодинного сигнала, полученного со стабилизированным генератором от вагона на расстояниях около 50 м (а) и 250 м (б).

На рис. 2 представлены фотографии внешнего вида (а) макета автодинной СБРЛ на рабочем месте проведения испытаний и вид парка сортировки вагонов (б). В испытываемом образце использовалась антенна типа АДЭ с диаметром зеркала 360 мм. Ширина диаграммы направленности – 1,5 градуса. Радиолокатор устанавливался на специальный стол со штатным узлом крепления и ориентировался на продолжение оси контролируемого пути в сторону спускной части горки. Диаграмма направленности ориентировалась вдоль оси пути, отмеченном на рис. 2 б стрелкой. В качестве автодина использовался сначала обычный (нестабилизованный) генератор на диоде Ганна 8-мм диапазона, подробно описанный и исследованный в [8]. После проведения серии испытаний этот генератор был заменён на такой же генератор, но стабилизированный внешним высокочастотным резонатором [9]. В ходе испытаний производилась регистрация сигналов на персональный компьютер с визуальным контролем прохождения отцепов и последующим измерением расстояния до них.

На рис. 3 представлены осциллограммы (слева) и спектрограммы (справа) сигналов, полученных с обычным генератором от движущегося вагона после замедлителя для различных расстояний, полностью вписывающиеся в изложенную выше концепцию, а на рис. 4 – аналогичные диаграммы со стабилизированным автодинным генератором.

Анализ полученных сигналов (см. рис. 4 и 5) показал, что причиной хаотизации автодинных сигналов при сильном отражённом излучении являются изменения частоты генерации, при которых параметр искажений значительно превышает единицу. В случае, стабилизации частоты генератора, например, внешним высокочастотным резонатором, данное явление не наблюдалось. Это означает, что стабилизация частоты СВЧ генераторов значительно улучшает устойчивость автодинных СБРЛ к воздействию сильных сигналов и расширяет её динамический диапазон, что является важным для широкого круга применений данных систем.

Литература

1. Воторопин С. Д., Носков В. Я., Смольский С. М. Современные гибридно-интегральные автодинные генераторы микроволнового и миллиметрового диапазонов и их применение. Ч. 2. Теоретические и экспериментальные исследования // Успехи современной радиоэлектроники. 2007. № 7. С. 3–33.
2. Воторопин С.Д., Закарлюк Н.М., Носков В.Я., Смольский С.М. О принципиальной невозможности самосинхронизации автодина излучением, отражённым от движущегося объекта // Известия вузов. Физика. 2007. Т. 50. № 9. С. 53–59.
3. Носков В.Я., Игнатков К.А. Основные уравнения для исследования переходных процессов в автодинном генераторе и анализ его устойчивости // (См. настоящий сборник).
4. Носков В.Я., Игнатков К.А. Расчёт и анализ переходных процессов в автодинном генераторе // (См. настоящий сборник).
5. Носков В.Я., Игнатков К.А. Динамика установления автодинных характеристик радиопульсного генератора // (См. настоящий сборник).
6. Новожилова Ю.В. Влияние отражения от удалённой нагрузки на модуляционные характеристики генератора //20-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010): материалы конференции в 2 томах. (Севастополь, 13–17 сент. 2010 г.) Севастополь: Вебер, 2010. Т. 2. С. 897–898.
7. Стрюков Б. А., Зверев Ю. М. Об информативных свойствах автодинного измерителя скорости // Радиотехника. 1977. №. 1. С. 65 – 69.
8. Носков В.Я., Игнатков К.А., Смольский С.М. Зависимость автодинных характеристик от внутренних параметров СВЧ генераторов // Радиотехника. 2012. № 6. С. 24–46.
9. Носков В. Я., Игнатков К. А., Смольский С. М. Автодинные параметры и характеристики СВЧ генераторов, стабилизированных внешним резонатором // 21-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011): материалы конференции в 2 томах. (Севастополь, 12–16 сент. 2011 г.) Севастополь: Вебер, 2011. Т. 2. С. 971–974.